Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 2, May-June 2020, p. 255-268

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۹، ص. ۲۶۸-۲۵۵

مقاله علمی-پژوهشی

درک پیوند آب-غذا-انرژی و مدیریت برای بهره‌وری از منابع آب موجود

محمدرضا گودرزی[۱*]- رضا پیریائی[۲]- میر رحیم موسوی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۸

چکیده

بررسی‌ها بر روی پیوند آب، غذا و انرژی[۴] یک مبنای مشترک برای پژوهشگران، ذینفعان و دولت جهت درک و مدیریت، امنیت و استفاده از روابط WEF فراهم می‌کند. نمونه رابطه WEF روابط ویژه‌ای را برای تحقیقات بین رشته‌ای که مدیریت یکپارچه منابع آب است مهیا می‌کند. هدف از این پژوهش بهره‌وری مناسب از منابع آب موجود با استفاده از رویکرد آب، غذا و انرژی و با توجه به تغییرات آب‌وهوایی آتی در شهر بروجرد است. در این مطالعه از خروجی مدل HADGEM2 تحت دو سناریوی انتشار RCP2.6 و RCP8.5 مربوط به پنجمین گزارش ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده شد. ریزمقیاس نمایی با استفاده از مدل LARS-WG انجام شد. شهر بروجرد با نرم‌افزار GIS مدل شد و رویکرد آب، غذا و انرژی برای نهایت بهره‌مندی از منابع آب مورد استفاده قرار گرفت. خروجی مدل HADGEM2 تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 نشان داد که در دوره آتی دما بین ۱/۵ تا ۳ درجه سانتی‌گراد و بارش بین ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر تغییر را تجربه خواهند کرد. نتایج نشان داد حجم بارش به دست آمده از بارش ۶۱۲۶۱۲/۴۵ متر مکعب در سال می‌باشد و چرخه فاضلاب ۱۲۷۵۰۰۰۰ متر مکعب در سال می‌باشد. بنابراین بعد از تصفیه و بازچرخانی دوباره‌ی آب می‌تواند ۶۰/۷۴ درصد تقاضای فعلی آب شهر بروجرد را تأمین کند. می‌توان از این منابع آب برای کشاورزی شهری در و یا آبیاری درختان و فضای سبز و از فاضلاب برای تولید انرژی الکتریکی در شهر استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات آب‌وهوایی، منابع آب، مدل HADGEM2، Water-Energy-Food Nexus

مقدمه

نحوه استفاده و تأمین غذا، انرژی و آب رابطه‌ای حل نشدنی با هم دارند. مطابق با تقاضای جهانی برای آب، غذا و انرژی و روند افزایش آن تأمین این منابع جدانشدنی و مرتبط با هم چندان میسر نشده و اطمینان چندانی به تأمین آن‌ها نیست، یک روش زمان‌بر جوامع جهانی تلاش‌های تحقیقاتی خود را برای مطالعه سلسله پیوندی آب، غذا و انرژی در یک چارچوب کل‌نگرانه به کار گرفتند با این هدف که اهداف توسعه پایدار ارائه شده از سوی جامعه ملل تأمین گردد(۲، ۱۸، ۲۳). چنین گفته می‌شود که SDGs[۵] یا همان اهداف توسعه پایدار چندان یکپارچه نیستند به‌خصوص در مورد گروه سلسله آب، غذا و انرژی این وضعیت دیده می‌شود (۳۳). نمونه گروه آب، غذا و انرژی ایجاد یک جایگاه مخصوص برای تحقیقات سیاست‌گذاری ذینفعان و سهامداران بخش‌های آب، غذا و انرژی جهت درک و حل موارد پیچیده و گوناگون مربوط به این سه بخش است (۴ و ۱۳). این موارد شامل اختصاص منابع سرمایه‌گذاری برای زیرسازی توسعه اجتماعی-اقتصادی و حفظ منابع طبیعی می‌باشد. وقتی محققان حوزه آب با انجمن‌های تحقیقاتی غذا و انرژی گرد هم می‌آیند، قرار است کاری فراتر از قبل انجام بگیرد و جامعه ما با سؤالات تحقیقاتی بسیاری مواجه می‌شود. محققان حوزه‌ی آب برای درک، مفهوم و مدیریت مبتنی بر مهارت‌ها و تجربه‌های فعلی ما با سیستم آب، غذا و انرژی به دنبال راهکارهایی برای مشارکت هستند و اینکه با چه راهکارهایی می‌توان روش‌شناسی‌های سنتی به کار رفته در آنالیز سیستم‌های آب را به سیستم‌های ارزیابی جدید آب، غذا و انرژی توسعه داد. در چه موارد خاصی محققان آب با محققان حوزه انرژی و غذا می‌توانند همکاری داشته باشند؟ برای متخصصان آب‌شناسی کدام فرآیند اساسی آب‌شناسی تحت تأثیر فرآیند بخش دیگر واقع شده و یا می‌شوند؟ برای مهندسین آب و سیاست‌گذاران چه مسیرهای جدیدی

۱- استادیار (دکتری عمران-آب)، دانشکده عمران، دانشگاه یزد
(*- نویسنده مسئول: Email: goodarzimr@yazd.ac.ir)
۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دکترای تخصصی، مدیریت ساخت، مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آیت‌الله‌العظمی بروجردی (ره)، بروجرد
DOI: 10.22067/jsw.v34i2.78589

4- Water-Energy-Food (WEF)
5- Sustainable Development Goals (SDGS)

برای فناوری زیرسازی و توسعه سیاسی جهت ارتقاء درازمدت باعث ایجاد انگیزه در دیدگاه آب، غذا و انرژی می‌شود؟ این سؤالات باعث ایجاد انگیزه در دیدگاه‌ها می‌شود تا برای روشن‌سازی چگونگی مشارک همسان محققان آب و کارورزان برای ظهور و یا نظم‌دهی به امور گروه آب، غذا و انرژی تلاش کنیم.

برای محققان آب ایده مدیریت یکپارچه منابع یک مورد جدید نیست با بازگشت به برنامه آب (۲۰) محققان برای مطالعه آب در یک چارچوب نظام‌مند درونی دعوت شدند تا روابط چندوجهی آب با جامعه بشری و محیطزیست روشن شود به این ترتیب دفاع از تحقیقات درون رشته‌ای در حوزه آب یک مسیر گسترده در فرآیند پیدا کرده است.هدف از مطالعه گروه آب، غذا و انرژی ارتقاء کارایی و سودمندی سیستم ثبات پایدار و افزایش عملکرد اجرایی سیستم از طریق درک کل‌نگرانه، مدیریت منابع و انعکاس اهداف یکپارچه مدیریت منابع (IWRM[1]) می‌باشد (۳). IWRM تحت عنوان فرآیند ارتقا دهنده توسعه و مدیریت هماهنگ آب، زمین و منابع مرتبط به منظور به حداکثر رسانی رفاه اجتماعی و پیامدهای اقتصادی به روشی عادلانه و بدون به مخاطره انداختن ثبات اکوسیستم‌های حیاتی تعریف می‌شود (۹) و به عنوان یک کلید کاربردی جهت توسعه پایدار از سوی ملل متحد شناسایی شده (۳۱)که با آژانس‌های پیشتاز بین‌المللی[2] بسیاری ارتقا می‌یابد (۱۱). IWRM آن طوری که انتظار می‌رفت اجرای گسترده‌ای نداشت وتحت عنوان دستورالعمل برای فلجی (از کارافتادگی) مورد انتظار قرار می‌گیرد (۲۱). هرینگ و اینگلد (۲۰۱۲) بیان داشتند که حرکت به سوی نیازهای محدوده‌های تنظیمی برای یکپارچه‌سازی و یکپارچه‌سازی فرابخشی در صورتی نیاز است که نقص‌ها و کمبودهایی به واسطه فعالیت‌های خارج از حوزه آب به روز باشد در واقع IWRM رابطه بین تأمین آب و غذا در انرژی را بزرگ‌نمایی می‌کند (۱۳).

منابع آب محدود و ایمنی مواد غذایی و انرژی یکی از چالش‌های اصلی است که جهان در آینده با آن روبرو خواهد شد. پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۳۰ میلادی جمعیت جهان به ۸ میلیارد نفر افزایش یابد که به ناچار فشار زیادی بر روی منابع آب، غذا و انرژی این سیاره خواهند داشت (۲۷ و ۳۶). منابع اقلیمی نه تنها از افزایش جمعیت و نیازهای آب و غذایی تأکید می‌شود، بلکه افزایش رقابت از سوی صنعت علاوه بر تأثیرات تغییرات اقلیمی افزایش خواهد یافت (۴۰). درحالی‌که بهبود تولید محصول برای نیازهای غذایی در آینده ضروری است، ولی منابع محدود آب نمی‌توانند نیازهای آب مورد نیاز را برآورده سازند و کشورهایی مانند چین باید تولید مواد غذایی کشاورزی خود را با همان مقدار یا حتی کمتر از آب مصرفی افزایش دهند (۲۹). به دست آوردن محصولات و انرژی بیشتر در هر قطره آب، به‌ویژه در مناطقی که منابع آب به دلیل تغییرات آب و هوایی ضعیف می‌شوند، برای دستیابی به امنیت غذا و انرژی در سراسر جهان ضروری است (۳۲). تکنیک‌های سنتی مدیریت آب در کشاورزی به دنبال بهره‌وری محصول با استفاده از روش‌های کشاورزی، زیست‌شناسی و مهندسی از جمله ارتقاء فناوری صرفه‌جویی آب در آبیاری (آبیاری بارانی)، اتخاذ روش‌هایی برای کاهش میزان تبخیر خاک و افزایش تحمل به خشکی محصول از طریق اصلاح انتخابی و اصلاح ژنتیکی هستند (۵ و ۳۷). (بنابراین مدیریت منابع طبیعی به طور عمده بر روی توزیع آب و افزایش بهره‌وری منابع آب در طول فرآیند تولید تمرکز دارد. درحالی‌که تحقیقات و تجزیه‌وتحلیل کمی کاهش مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی و انرژی از طریق تغییر الگوی مصرف در جمعیت یک استراتژی جدید برای کاهش فشار بر منابع آب فراهم می‌کند.

یک روش مؤثر برای بحث در مورد اهمیت الگوهای مصرف در مصرف آب از طریق مفهوم اثر آب است. اثر آب شاخصی است که اثرات متعددی که تولید و مصرف انسان به منابع آب و محیطزیست از نوع مصرف، مقدار، هدف و بهره‌وری مصرف آب را بیان می‌کند (۱۲ و ۴۱). مفهوم اثر آب هنگامی که تجزیه و تحلیل رابطه‌ی بین منابع آب و نیازهای مصرف را نشان می‌دهد به عنوان شاخص جدیدی عمل می‌کند و پایه‌ای برای تصمیم‌گیری در مورد استفاده مناسب از منابع آب را فراهم می‌کند. سیستم ارزیابی سنتی مدیریت منابع تولید اکنون می‌تواند گسترش یابد تا شامل مدیریت مصرف باشد که می‌تواند یک روش برای بهبود بهره‌وری استفاده از منابع آب باشد (۱۶). در حال حاضر تحقیقات انجام شده در زمینه منابع آب به طور عمده بر سه جنبه تمرکز دارد: ۱- نظریه اثر آب و تجزیه‌وتحلیل کمی، ۲- مطالعات موردی، ۳- ارزیابی و مدیریت منابع آب. ژائو و همکاران (۲۰۰۹) یک چارچوب برای مصاحبه‌ی اثر آب‌های ملی با روش‌های ورودی- خروجی در چین برای سال ۲۰۰۲ ارائه کردند (۳۹). هابک و همکاران (۲۰۰۹) مسیرهای فعلی و سناریوهای تغییر شهرنشینی و شیوه زندگی و سایر اهمیت‌های اقتصادی و اجتماعی مهم چین را با استفاده از اثرات زیست‌محیطی و آب مورد بررسی قرار داد. این مطالعه نشان داد که توانایی ساخت جوامع پایدار در آینده یک چالش کلیدی برای چین است (۱۴). هاکسترا و همکاران (۲۰۱۱) چارچوب تحلیل و ارزیابی کمیابی آب را پیشنهاد دادند و در مورد هدف و استراتژی آب توضیح دادند (۱۲). چاپاگین و تیکنر (۲۰۱۲) اشاره کردند که ابعاد آب یک ابزار مؤثر برای ارزیابی میزان مصرف آب است و می‌تواند به درک بهتر ارتباطات بین استفاده از آب توسعه اقتصادی، عملکرد تجاری و خطرات اجتماعی و محیطزیست کمک کند (۶). ژانگ و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کردند مطالعات ارزیابی و مدیریت

1- Integrated Water Resources Management (IWRM)
2- International

منابع آب شامل ارزیابی اثر آب راه‌حل جدیدی برای تعیین اثرات مصرف انسان‌ها برای منابع آب می‌باشد و به سازمان‌های مدیریت برای دستیابی به توسعه پایدار کمک می‌کند (۳۸). عدم امنیت آب، انرژی و مواد غذایی به این معنی است که امنیت آب، امنیت انرژی و امنیت غذایی قطعاً پیوند دارند و اقدامات در هر یک از این‌ها معمولاً در یک یا هر دوتای دیگر تأثیر می‌گذارد. با توجه به اینکه جمعیت جهان تقریباً به ۸ میلیارد نفر می‌رسد، با افزایش تقاضا برای خدمات اساسی و افزایش تمایل به استانداردهای زندگی بالاتر، نیاز به مراقبت بیشتری از منابع حیاتی موردنیاز برای دستیابی به این خدمات و خواسته‌ها آشکار و الزامی شده است (۱۹).

امنیت آب و غذا در ایران با توجه به تغییرات آب و هوایی که در حال رخ دادن است نگرانی‌های زیادی را به خود اختصاص داده است که این مسئله شامل شهرهای کوچک همچون بروجرد نیز شده است. ارزیابی جامع و بهره‌وری منابع آب در شهرها ضروری است، زیرا می‌تواند اطلاعاتی را برای مؤسسات دولتی و عمومی مردم برای توسعه الگوهای مناسب ارائه دهد. هدف این پژوهش استفاده و بهره‌وری مناسب از منابع آب موجود در شهرستان بروجرد می‌باشد و مبنای آن بازگشت آب‌های مصرف شده به چرخه و استفاده مجدد از منابع آب و کاهش برداشت از آب‌های زیرزمینی می‌باشد. بنابراین پتانسیل صرفه‌جویی در استفاده از منابع آب و بازگشت این منابع به چرخه مورد ارزیابی قرار گرفته شد و نتایج می‌تواند به عنوان یک راه‌حل بالقوه برای کمبود آب آینده در شهر بروجرد با استفاده از پیوند آب، غذا و انرژی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

رویکرد WEF Nexus

آب، انرژی و امنیت غذایی در سطح جهانی را می‌توان از طریق یک رویکرد ارتباطی به دست آورد، رویکردی که مدیریت و حاکمیت را در سراسر بخش‌ها و مقیاس‌ها ادغام می‌کند. یک رویکرد ارتباطی می‌تواند از انتقال به اقتصاد سبز حمایت کند که هدف آن، در میان سایر موارد، در بهره‌وری استفاده از منابع و انسجام سیاست بیشتر است. با توجه به افزایش ارتباطات بین بخش‌ها در فضا و زمان، کاهش نگرانی اقتصادی، اجتماعی و محیطی منفی می‌تواند کارایی کلی منابع را افزایش دهد، مزایای بیشتری را تأمین کند و حقوق بشر را برای آب و غذا تأمین کند. در یک رویکرد مبتنی بر رابطه، سیاست‌گذاری و تصمیمی متداول در سیلوها به این ترتیب رویکردی را که سبب کاهش ترکیبات و ایجاد همکاری در میان بخش‌ها می‌شود، متوقف می‌کند.

* امنیت آب در اهداف توسعه هزاره[1] به عنوان "دسترسی به آب آشامیدنی سالم و بهداشت" تعریف شده که هر دوی آن‌ها اخیراً به یک حق انسانی تبدیل شده‌اند، در حالی که بخش عمده‌ای از تعاریف امنیت آب در دست نیست دسترسی به آب برای سایر کاربردهای انسانی و اکوسیستم از دیدگاه ارتباطی نیز بسیار مهم است (۳۰).

* امنیت انرژی به عنوان "دسترسی به خدمات تمیز، قابل اعتماد و مقرون به صرفه برای پخت‌وپز و گرمایش، نورپردازی ارتباطات و کاربردهای تولیدی" تعریف شده است و به عنوان دسترسی فیزیکی بدون وقفه انرژی با توجه به نگرانی‌های محیطی مقرون به صرفه است (۱) .

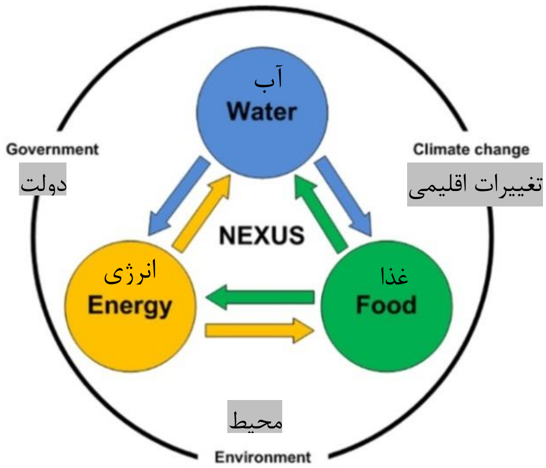
* تأمین مواد غذایی توسط سازمان غذا و کشاورزی[2] به عنوان "دسترسی به غذای کافی و سالم برای رفع نیازهای غذایی و تنظیم غذا برای یک زندگی سالم و فعال" تعریف شده است. غذای مناسب نیز به عنوان یک حق انسانی تعریف شده است (۸).

دیدگاه ارتباطی، درک وابستگی‌های متقابل در بخش‌های آب، انرژی و غذا را افزایش می‌دهد و سیاست‌ها را در نگرانی‌های دیگر مانند آب‌وهوا و تنوع زیستی تحت تأثیر قرار می‌دهد. چشم‌انداز ارتباطی به حرکت به جلو از سیلوها و برج‌های عاج کمک می‌کند که راه‌حل‌های بین رشته‌ای را کنار بگذارند، درنتیجه فرصت‌هایی برای پاسخ‌های دو طرف سودمند و افزایش پتانسیل همکاری بین و در میان تمام بخش‌ها فراهم می‌شود. هر کس در تمام رشته‌ها باید فکر کند و از دیدگاه ارتباطات به منظور تحقق بخشیدن به تأثیر کامل همکاری مستقیم و غیرمستقیم که می‌تواند منجر به عمل شود.

تغییر اقلیم

تابش‌های خورشیدی و بعضاً فعالیت‌های آتشفشانی به عنوان دو عامل طبیعی خارجی بر سیستم اقلیم کره زمین تأثیر می‌گذارند. خورشید مهم‌ترین منبع تأمین گرمایش زمین می‌باشد. این در حالی است که پس از فعالیت‌های آتشفشانی ذرات معلق بسیاری وارد اتمسفر منطقه شده و با انعکاس نور خورشید مانع از رسیدن نور خورشید به سطوح پایینی اتمسفر شده و سبب می‌شود تا دمای منطقه سرد گردد. به مجموع تغییرات ناشی از عوامل طبیعی خارجی و همچنین تغییرات ناشی از نوسانات درونی سیستم، نوسانات طبیعی اقلیم اطلاق می‌گردد (۱۵).

1- Millennium Development Goals (MDGs)
2- FAO



شکل ۱- نمودار شماتیک WEF nexus (۳٤)
Figure 1- WEF nexus schematic diagram (34)

پدیده‌ی تغییر اقلیم که ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، به ویژه گاز دی‌اکسیدکربن در جو می‌باشد، سبب تغییرات فصلی، تداوم خشکسالی، تغییرات در رژیم بارش، میزان جریان، سرعت باد، تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین و دمای هوا می‌شود. تغییر تابش منعکس شده‌ی خورشید، تغییر مدار زمین، گازهای گلخانه‌ای و رانش قاره‌ها، مهم‌ترین فاکتورهایی هستند که تغییر اقلیم را تشدید می‌کنند. بروز و تشدید پدیده‌های حدی مانند طوفان‌های سهمگین، یخبندان‌های نابهنگام، خشکسالی‌ها، فراوانی جریان‌های کمینه و موارد مشابه، نتیجه‌ی چنین تغییراتی است که ما را در برخورد با تهدیدی جهانی به یقین رسانده است. پدیده‌ی تغییر اقلیم می‌تواند بر سیستم‌های مختلفی تأثیر بگذارد که سیستم منابع آب از اصلی‌ترین آن‌ها است. بنابراین این پدیده می‌تواند به عنوان عمده‌ترین چالش بشر در دوره‌های آتی قلمداد گردد. افزایش دمای سطح زمین و تغییر در الگوهای بارندگی پدیده‌های قالب در تغییر اقلیم می‌باشند که این دو تقریباً تمام بخش‌های دیگر چرخه‌ی آب را تحت تأثیر قرار می‌دهند تمام مدل‌های گردش عمومی افزایش دما و تغییر در شدت و مقدار بارش را برای قرن حاضر پیش‌بینی می‌کنند (۱۰).

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس-اتمسفر گردش عمومی اتمسفر[1] که بعد از این در این متن به آن AOGCM اطلاق می‌گردد، می‌باشد (۱۷ و ۳۵). مدل‌های AOGCM بر پایه قوانین فیزیکی که به‌وسیله روابط ریاضی ارائه می‌شوند, استوار می‌باشند. انجمن IPCC در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود (ARS) از سناریوهای جدید RCP به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوهای جدید دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 می‌باشند که بر اساس میزان واداشت تابشی آنها در سال ۲۱۰۰ و مشخصات متفاوت سطح تکنولوژی، وضعیت اجتماعی و اقتصادی، خط‌مشی‌ها در آینده می‌باشند که در هر شرایط می‌توانند منجر به سطح انتشار متفاوت گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی گردند. در هر نسخه از این سناریوها، اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اساس نقش آن بر سطح واداشت‌های تابشی به چهار دست ۸/۵، ۶، ۴/۵ و ۲/۶ وات بر متر مربع تا پایان قرن ۲۱، طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین نتایج این سناریوها از سال ۱۸۵۰ تا پایان قرن ۲۱ را پوشش می‌دهند و همچنین تا سال ۲۳۰۰ فرموله شده‌اند. سناریوهای RCP با احتمال تغییرات وسیع در فعالیت‌های انسانی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده همراه می‌باشند (۷).

در سناریوی RCP8.5 میزان غلظت CO_2 تا سال ۲۱۰۰، به مقدار ۱۳۷۰ ppmv تخمین زده شده است و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی را تا ۸/۵ وات بر متر مربع تخمین زده است.

در سناریوی RCP6.0 میزان غلظت CO_2 تا سال ۲۱۰۰، به مقدار ۸۵۰ ppmv تخمین زده شده است و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی، تا ۶ وات بر متر مربع تخمین زده است.

در سناریوی RCP4.5 میزان غلظت CO_2 تا سال ۲۱۰۰، به مقدار ۶۵۰ ppmv تخمین زده شده است و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی را ۴/۵ وات بر متر مربع تخمین زده است.

در سناریوی RCP2.6 میزان غلظت CO_2 تا سال ۲۱۰۰، به مقدار ۴۹۰ ppmv تخمین زده شده است و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی تا ۲/۶ وات بر متر مربع تخمین زده است.

1- Atmosphere-Ocean General Circulation Model

مدل LARS-WG

LARS-WG یک مولد آب‌وهوای تصادفی است که می‌تواند برای شبیه‌سازی داده‌های جوی در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم کنونی و آینده استفاده شود. اولین نسخه LARS-WG در بوداپست در سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از ارزیابی ریسک کشاورزی در مجارستان توسعه یافته بود (۲۲). سپس در سال ۱۹۹۸ توسط سمنوف بازنگری و بارو[1] تعدیل شد (۲۵). این مدل سری‌های زمانی روزانه از دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی و تابش خورشید را تولید می‌کند. یک مولد آب‌وهوای تصادفی از آب‌وهوای روزانه مشاهده شده در یک ایستگاه برای محاسبه یک مجموعه از پارامترها برای توزیع‌های احتمال متغیرهای هواشناسی، به علاوه ارتباط بین آن‌ها استفاده می‌کند. این مجموعه از پارامترها برای تولید سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی ساختگی با طول دلخواه از طریق انتخاب تصادفی مقادیر از توزیع‌های مناسب استفاده شده است. از طریق دخالت پارامترهای توزیع‌ها برای یک ایستگاه به همراه تغییرات پیش‌بینی‌شده اقلیمی که از مدل‌های اقلیم جهانی یا منطقه‌ای نتیجه شده، سناریوی اقلیم روزانه برای این ایستگاه می‌تواند تولید شود و در اتصال به مدل‌های شبیه‌سازی سامانه‌های مختلف از جمله منابع آب و کشاورزی برای ارزیابی اثرات استفاده گردد. LARS-WG در اقلیم‌های مختلف امتحان شده است و نتایج خوبی را در تولید آمارهای آب‌وهوای گوناگون شامل حوادث شدید آب‌وهوایی نشان داده است (۲۴).

منطقه مورد مطالعه

شهرستان بروجرد یکی از شهرستان‌های استان لرستان محسوب می‌شود. این استان با مساحت ۲۸۰۶۴ کیلومترمربع در غرب ایران و بین مدار ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی واقع‌شده است. شهرستان بروجرد با مساحت ۱۶۰۶ کیلومترمربع در حدود ۵/۷ درصد از سطح کل استان را به خود اختصاص داده است. این شهرستان که در شمال استان واقع شده، دارای موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی است. شهرستان بروجرد از شمال به شهرستان ملایر از استان همدان، از جنوب به شهرستان دورود و خرم‌آباد، از غرب و جنوب‌غربی به شهرستان خرم‌آباد، از شمال‌غربی به شهرستان نهاوند و از جهت شرق به شهرستان اراک محدود می‌شود. این شهرستان ازنظر تقسیمات کشوری دارای دو نقطه شهری به نام‌های بروجرد و اشترینان و ۲ بخش به نام‌های اشترینان و مرکزی و ۷ دهستان به اسامی (اشترینان، بردهسره، گودرزی، دره‌صیدی، شیروان، والانجرد و همت‌آباد) است. شهر بروجرد در بخش مرکزی این شهرستان واقع شده و وسعتی بالغ بر ۳۳۹۳ هکتار و یا ۳۳/۹ کیلومتر مربع را داراست (۲۸).

1- Barrow

نتایج

تغییر اقلیم

در این پژوهش، از خروجی مدل HADGEM2 تحت دو سناریوی انتشار RCP2.6 و RCP8.5 مربوط به پنجمین گزارش ارزیابی هیئت بین الدّول تغییر اقلیم، استفاده شد. این مجموعه داده‌ها آزادانه از طریق مرکز توزیع داده که توسط IPCC در سال ۱۹۹۸ شکل گرفته، قابل دسترسی می‌باشند (www.IPCC-data.org). جهت دسترسی به داده‌های مربوط به منطقه مطالعاتی در دوره‌های ۲۰ ساله پایه و آتی، با وارد کردن مختصات مکانی موقعیت مورد نظر و همچنین طول آماری مورد نیاز سری‌های زمانی دما و بارش در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) و دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۲۰)، خروجی ماهانه این متغیرها در دو دوره زمانی به دست می‌آید.

جهت اجرای اولیه مدل LARS-WG باید در ابتدا دو فایل ورودی آماده شد، که یک فایل شامل نام، عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع مربوط به ایستگاه اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی می‌باشد که در آن فرمت و ترتیب داده‌های ورودی مدل نیز مشخص می‌شود. فایل دیگر شامل داده‌های هواشناسی ورودی به مدل که به‌ترتیب از سال کم به زیاد مرتب شده و محتوی سال، شماره روز، حداقل دما، حداکثر دما، بارش و ساعات آفتابی (دلخواه) روزانه می‌باشد.

در قسمت اول که واسنجی مدل نام دارد، به کمک آنالیزهای مدل بر روی داده‌های ورودی دو فایل حاصل می‌شود. یک فایل شامل خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی از قبیل طول سری‌های خشک و مرطوب به صورت فصلی و میانگین و انحراف معیار دوره‌های خشک و مرطوب به صورت ماهانه، توزیع‌های تجربی، مقادیر میانگین، انحراف معیار، ماکزیمم و مینیمم و تعداد داده‌های ثبت شده بارش به صورت ماهانه، و مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار و تعداد داده‌های ثبت شده حداکثر و حداقل دما و تشعشعات آفتابی به صورت ماهانه و روزانه، همچنین با استفاده از توزیع‌های تجربی فصلی دوره‌هایی از سرما و گرما مدل‌سازی می‌شود، بر این اساس که روز سرد به روزی اطلاق می‌شود که دمای حداقل آن به زیر صفر درجه سانتی‌گراد و روز گرم نیز روزی محسوب می‌شود که دمای حداکثر آن به بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد برسد.

فایل دیگر پارامترهای استفاده شده توسط مدل LARS-WG جهت باز تولید داده‌های مشاهداتی است که شامل بازه‌های

هیستوگرام ماهانه و فراوانی رخدادهای مربوط به هر کدام از بازه‌ها برای بارش، طول دوره‌هایی از سری‌های خشک و مرطوب و تشعشعات آفتابی، ضرایب فوریه مربوط به میانگین و انحراف معیار، حداکثر و حداقل دما در دوره‌های خشک و مرطوب به صورت جداگانه، متوسط خود همبستگی مربوط به حداقل و حداکثر دما و تشعشعات آفتابی (خود همبستگی بر این اساس که مقادیر مربوط به هر روز به شرایط روزهای قبل بستگی دارد)، را نشان می‌دهد. بعد از واسنجی مدل، گام بعدی ارزیابی توانایی مدل برای شبیه‌سازی اقلیم در ایستگاه منتخب می‌باشد. در این مرحله داده‌های ساختگی با فرض اینکه هیچ‌گونه تغییر اقلیمی وجود ندارد برای هر تعداد سال دلخواه مبتنی بر فایل پارامتر ایستگاه منتخب تولید شد که در دو فایل ذخیره می‌شود. سپس مشخصه‌های آماری داده‌های هواشناسی مشاهده شده و ساختگی برای تعیین اینکه آیا اختلافات قابل توجه آماری وجود دارد یا نه تحلیل می‌شوند. در واقع این مقایسه بین دو فایل آماری نتیجه شده از داده‌های مشاهده شده و نتیجه شده از داده‌های تولید شده انجام می‌پذیرد. مدل برای مقایسه بین داده‌های مشاهده شده و تولید شده از سه معیار توزیع‌های احتمال، میانگین‌ها و انحراف معیارها به ترتیب از طریق آزمون‌های آماری کای اسکوئر (K، T و F) استفاده می‌کند. این آزمون‌ها بر اساس این فرض هستند که داده‌های هواشناسی مشاهده شده و تولید شده، هر دو نمونه‌های تصادفی از توزیع‌های موجود هستند. این آزمون‌ها فرض صفر را بررسی می‌کنند. فرض صفر به این معنی است که هر دو توزیع مشابه هستند و اختلاف معنی‌دار نیست، یعنی در اینجا اختلافی بین اقلیم واقعی و اقلیم شبیه‌سازی شده برای آن متغیر وجود ندارد و دو مجموعه از داده‌ها می‌توانند از توزیع یکسان به دست آیند. هر آزمون دارای یک مقدار P می‌باشد که احتمال اینکه هر دو مجموعه از داده‌ها متعلق به همان بنابراین، برای یک مقدار P خیلی پایین فرض صفر رد می‌شود، یعنی اختلاف بین اقلیم واقعی و اقلیم شبیه‌سازی شده برای آن متغیر معنی‌دار است و شباهت بین آن‌ها غیرمحتمل می‌باشد. برعکس، یک مقدار P بزرگ بیانگر آن است که فرض صفر قبول می‌باشد، یعنی تفاوت‌ها به اندازه کافی کوچک هستند و اختلاف معنی‌دار نیست. در اینجا برای این آزمون‌ها سطح اطمینان ۱ درصد در نظر گرفته‌شده است، بنابراین برای ($P\geq0.01$) می‌توان فرض صفر را پذیرفت.

در مرحله سوم که تولید داده‌های هواشناسی نام دارد، داده‌های هواشناسی(دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش) برای هر تعداد سال دلخواه بر طبق سناریوی تغییر اقلیم خاصی در آینده شبیه‌سازی می‌شوند (۲۶). مدل برای تولید سری‌های زمانی روزانه دما و بارش در آینده نیاز به معرفی فایل سناریوی تغییر اقلیم که در بخش قبل به آن اشاره شد، دارد. در نهایت با استفاده از بخش تولیدکننده آب‌وهوا، مقادیر سری زمانی داده‌های روزانه دما، بارش تولید خواهد شد.

با توجه به تغییرات بارش ماهانه مشاهده شد که تغییرات در ماه‌های فصل زمستان از ژانویه تا مارس در سناریو RCP2.6 به صورت افزایشی، ولی در سناریو RCP8.5 کاهشی خواهد بود و تا ۲۰ درصد کاهش را نسبت به دوره پایه تجربه خواهد کرد. در ماه‌های فصل بهار، این دو سناریو تغییرات مشابه خواهند داشت و در شرایط نسبتاً برابر با دوره پایه قرار خواهند گرفت. در فصل تابستان هر دو سناریو تا ۴۰ درصد کاهش را نسبت به دوره پایه تجربه خواهند کرد. در طی فصل پاییز سناریو RCP2.6 تا ۲۰ درصد افزایش بارش و سناریو RCP8.6 حدود ۱۰ درصد کاهش را تجربه خواهند کرد.

با توجه به تغییرات دمای کمینه در هر دو سناریو حداقل ۱/۵ درجه افزایش دما نسبت به دوره پایه اتفاق خواهد افتاد. بیشترین افزایش دما در ماه‌های فصل پاییز اتفاق خواهد افتاد و تا ۲/۵ درجه افزایش در ماه اکتبر اتفاق خواهد افتاد. سناریو RCP2.6 به‌طور متوسط ۰/۵ درجه کمتر از سناریو RCP8.5 افزایش دما را برای دوره پایه پیش‌بینی کرده است.

جدول ۱- تغییرات بارش و دمای کمینه و بیشینه برای سناریو RCP2.6 نسبت به دوره پایه

Table 1- Changes in rainfall and minimum and maximum temperatures for RCP2.6 scenario relative to baseline

ماه Month	RCP2.6 تغییرات نسبی بارش 2.6 (mm) Relative precipitation variations RCP2.6	دمای کمینه 2.6 (°C) T Minimum	دمای بیشینه 2.6 (°C) T Maximum
Jan	1.11	1.81	1.95
Feb	1.01	1.64	2.17
Mar	1.08	1.58	2.19
Apr	1.03	1.65	2.3
May	0.98	1.65	2.38
Jun	1.11	1.55	2.06
Jul	0.96	1.61	2.05
Aug	0.66	1.88	2.41
Sep	0.72	2.2	2.63
Oct	1.03	2.22	2.5
Nov	1.14	2.02	2.22
Dec	1.16	1.95	1.97

جدول ۲- تغییرات بارش و دمای کمینه و بیشینه برای سناریو RCP8.5 نسبت به دوره پایه

Table 2- Changes in rainfall and minimum and maximum temperatures for RCP8.5 scenario relative to baseline

ماه Month	تغییرات نسبی بارش 8.5 (mm) Relative precipitation variations RCP8.5	دمای کمینه 8.5 (°C) T Minimum	دمای بیشینه 8.5 (°C) T Maximum
	RCP8.5		
Jan	0.91	1.45	2.18
Feb	0.82	1.37	2.48
Mar	0.91	1.61	2.68
Apr	1.04	1.79	2.56
May	0.99	1.62	2.34
Jun	1.09	1.67	2.15
Jul	1.26	2.06	2.28
Aug	0.97	2.29	2.67
Sep	0.68	2.4	2.91
Oct	0.84	2.47	2.91
Nov	0.99	2.31	2.73
Dec	0.98	1.88	2.35

تغییرات دمای بیشینه نشان‌دهنده افزایش حداقل ۲ درجه‌ای دما در هردو سناریو نسبت به دوره پایه می‌باشد. برای این پارامتر اقلیمی در فصل زمستان بیش از ۲/۵ درجه افزایش دما در سناریو RCP8.5 و در فصل پاییز نزدیک به ۳ درجه افزایش دما را نسبت به دوره پایه پیش‌بینی کرده است.

مدل GIS

مجموعه داده‌های ریخت‌شناسی شهری ویژگی‌های سطوح شهری از طریق سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان لرستان و شهرداری شهر بروجرد فراهم شدند. آمارهای جدولی جمعیت در سطح بلوک و شهر از طریق بخش آمار سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان تهیه شدند. عمر ساختمان‌ها، ویژگی‌های ساختمان و آمارهای کمیت و استفاده از کف زمین تهیه شدند. تراکم ساختمان‌ها و تراکم جمعیت بر این اساس محاسبه می‌شوند. آمارها با استفاده از ArcGISبه عنوان سیستم اطلاعات جغرافیایی محاسبه شد. آمارهای فضایی و جدولی که در ArcGIS از طریق شماره‌گذاری بلوک‌ها و خانه‌ها به هم متصل‌اند با توجه به نگرشی یکپارچه و اصل محاسبه همه‌ی داده‌های موجود تهیه شده‌اند. محاسبه سطح منطقه به عنوان کاری استاندارد در ArcGIS برای منطقه درون حیاط بلوک‌ها و سطح پشت‌بام‌ها اجرا شد. به منظور مستثنا قرار دادن لبه‌های چندضلعی بین ساختمان‌هایی که به‌طور مستقیم به هم متصل‌اند، چندضلعی‌ها به طور فضایی در سطح بلوک از طریق Dissolve و سپس معکوس کردن خطوط، ترکیب می‌شوند. خطوط انعطاف‌پذیر به دست آمده در رأس‌ها از هم جدا می‌شوند که لبه‌های ساختمان را برای ارتفاع‌های مختلف ساختمان‌های مجاور تشکیل می‌دهند. برای ارزیابی‌ها ۱۳ درصد از ساختمان‌های یک طبقه مسکونی و بقیه گاراژ و ... می‌باشند، از ساختمان‌های دوطبقه ۱۵ درصد آن‌ها محاسبه شد و مابقی کارگاه و ... در نظر گرفته شدند که غیرمسکونی می‌باشند و در این پژوهش حذف شده‌اند.

* ساختمان‌های سه طبقه و بیشتر مسکونی فرض می‌شوند.
* پشت‌بام‌های با بیشتر از ۱۵ درجه برای برداشت آب باران مناسب هستند و ۱۵ درصد سقف‌های شهر شیروانی تخمین زده شد.
* در حدود ۳۰ درصد از ساختمان‌های شهر دارای پارکینگ به ارتفاع ۲/۵ متر می‌باشند و عرض و طول پارکینگ‌ها ۱۰ متر در نظر گرفته می‌شود.

برای همین منظور با توجه به توضیحاتی که ذکر شد و اطلاعاتی که از ادارات مرتبط جمع‌آوری شدند، نقشه‌های مدل شهر به منظور به دست آوردن سطوح موردنظر محاسبه شد.

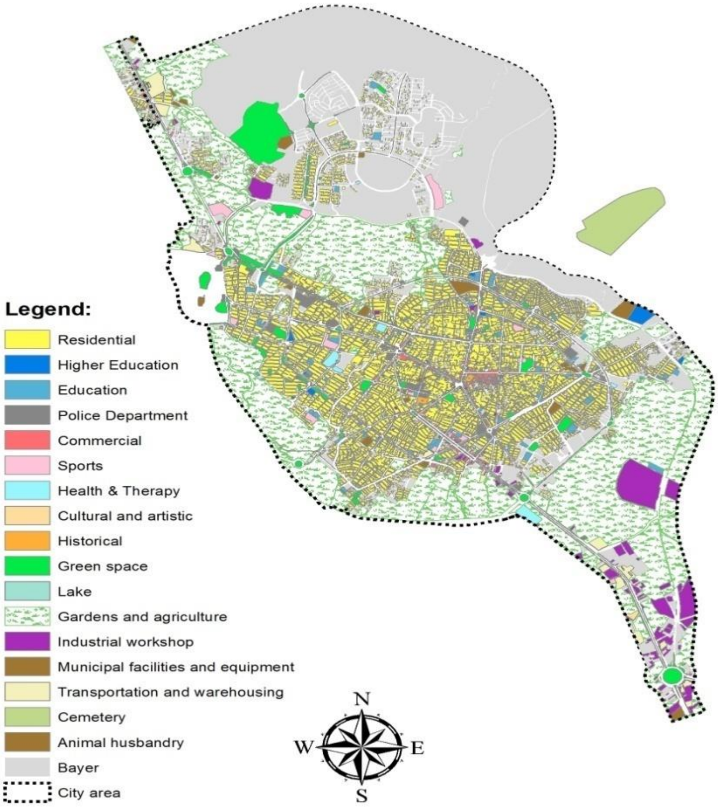
بهره‌وری ازمنابع آب

در بروجرد به دلیل فراوانی آب‌های زیرزمینی و سطحی مناسب روش سیستماتیک برای کل آبیاری محصولات وجود ندارد. البته در سال‌های اخیر و با توجه به کاهش بارش‌ها آبیاری درختان و مزارع به سمت آبیاری تحت‌فشار و قطری سو گرفته است، ولی هنوز هم در بعضی مزارع هنگامی که محصول نیاز به آب دارد، آب به راحتی استفاده می‌شود. بروجرد برای ۲۴۰۶۵۴ نفر جمعیت ساکن در این

شهر، ۲۲ میلیون متر مکعب آب در سال تولید می‌کند.

از این ۲۲ میلیون متر مکعب در حدود ۱۷ میلیون متر مکعب در دسترس قرار می‌گیرد و ۵ میلیون متر مکعب آن هدر رفت است. میانگین مصرف آب شیرین در بروجرد برای هر نفر در هر روز ۱۹۶/۲۲ لیتر می‌باشد. از این مقدار مصرف آب در شهر بروجرد در حدود ۷۵٪ آن برای سیفون، سینک ظرفشویی و ... استفاده می‌شود.

اگر آب سیاه و آب خاکستری قابل استفاده باشد، پس بعد از تصفیه آب موجود برای استفاده دوباره حدوداً ۷۵٪ فاضلاب است و فاضلاب روزانه در مدل نرم‌افزاری شهر ۳۵۴۱۶/۶ متر مکعب در روز می‌باشد. کل فاضلاب تولیدی مدل نرم‌افزاری بروجرد در سال ۱۲۷۵۰۰۰۰ متر مکعب می‌باشد.



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی شهرستان بروجرد به تفکیک فضاها

Figure 2- Land use map of Borujerd city by spatial separation

پس از ترسیم فضاهای مورد نظر در محیط GIS تعداد ساختمان‌ها به تفکیک طبقات در جدول ۳ ارائه شد.

جدول ۳- اطلاعات مربوط به طبقات ساختمان‌های مسکونی و سطح قابل استفاده

Table 3- Information on the floors of residential buildings and usable surface

تعداد طبقات Number of floors	تعداد کل ساختمان‌ها Total number of buildings	تعداد بلوک مسکونی Number of residential blocks	تعداد سایر ساختمان‌ها Number of other buildings	تعداد ساختمان‌های پارکینگ‌دار Number of parking buildings
یک طبقه	12110.25	274	1836	-
دو طبقه	9569	385	2184	-
سه طبقه	10559.75	1200	360	-
چهار طبقه	6592.75	720	472	483
پنج طبقه	3009.25	520	490	879
شش طبقه و بیشتر	1734	434	300	1512
جمع	43573	3533	5642	2874

سقف‌های با زاویه تا ۱۵ درجه و بیشتر از آن برای محاسبات جداسازی در جدول ۴ نمایش داده شدند.

جدول ٤- مساحت سقف‌های مورد نیاز و حجم پارکینگ‌ها
Table 4- Area of required ceilings and volumes of parking lots

حجم کل پارکینگ‌ها (m^3) All parking lots	مساحت غیرشیروانی ($s<15^{\circ}$) (m^2) Non-dairy area	مساحت کل شیروانی‌ها ($s>15^{\circ}$) (m^2) The total area of the gables	تعداد بلوک مسکونی شیروانی Number ofgable residential blocks
718500	7314453	1361361	530

چون در سال‌های آینده با کاهش بارش باران مواجه خواهیم بود که ناشی از تغییرات آب و هوایی است، فاضلاب تولیدی شهر می‌تواند پتانسیل منبع آب باشد. منبع مهم دیگر در شهر بروجرد که مورد بهره‌برداری قرار نمی‌گیرد، بارش باران است. همان‌طور که گفته شد سطوح بام‌هایی که از ۱۵° بیشتر شیب دارند می‌توانند برای برداشت آب باران استفاده شوند. همچنین از کف خیابان‌ها و سطوح غیره که به اصلاح تکنیکی خاصی نیاز ندارند، می‌توانند برای برداشت آب باران استفاده کرد. کل منطقه بام‌ها برای این کار در مدل نرم‌افزاری شهر ۱۳۶/۱۳ هکتار می‌باشد. با توجه به بارش‌های پیش‌بینی شده در سال‌های گذشته و تغییرات در بارش سالانه، میزان بارش بین ۰/۴ تا ۰/۵ متر متغیر است که ۰/۴۵ متر فرض می‌شود. همان‌طور که قبلاً سطوح محاسبه شده با توجه به رابطه ۱ می‌توان میزان حجم آب باران را محاسبه کرد:

$$Vp = PS_G$$ رابطه (۱)

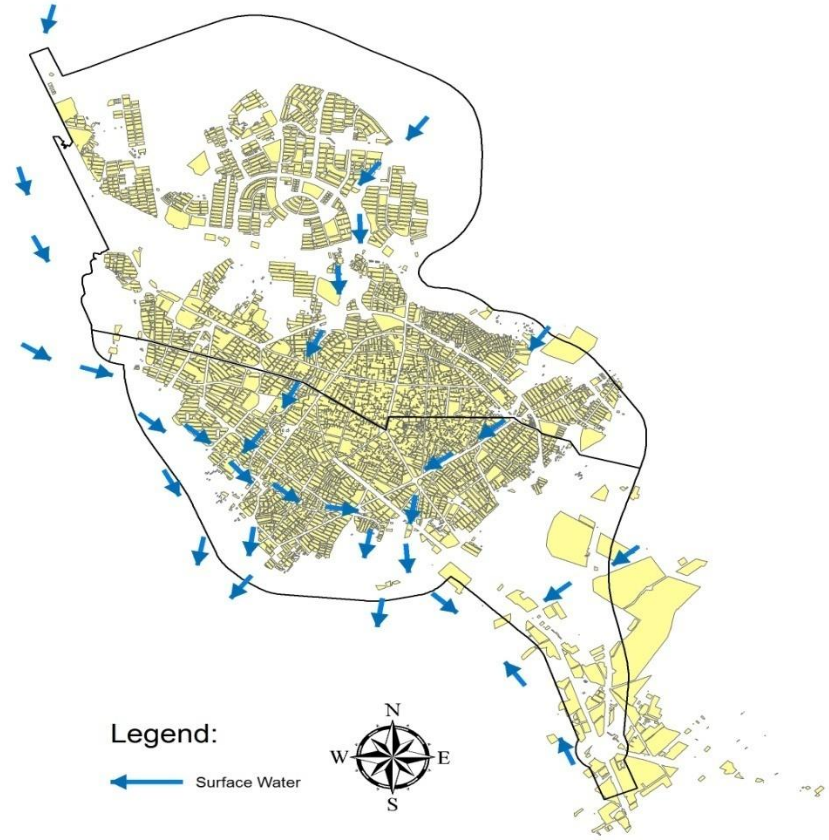
که در آن V_P حجم کل بارش (m^3)، p مقدار بارش (m) و S_G مساحت سطوح شیروانی(m^2) می‌باشد. حجم بارش به دست آمده از بارش ۶۱۲۶۱۲/۴۵ متر مکعب در سال می‌باشد، یعنی حجم کل آب باران موجود در مدل نرم‌افزاری شهر برای پوشش دادن مقداری از تقاضای آب شیرین فعلی شهری مناسب است که به‌طور فرضی ۳/۶٪ منبع آب شیرین را کاهش می‌دهد. برای ذخیره آب باران هم پارکینگ‌های زیرزمینی که در جدول ۴ محاسبه شده است می‌توانند به مخازن آب تبدیل شوند و مورد استفاده قرار گیرند. حجم این پارکینگ‌ها ۷۱۸۵۰۰ متر مکعب است، ظرفیت ذخیره آب موجود کمتر از حجم محاسبه شده می‌باشد. پس برای ذخیره‌سازی آب حاصل از باران مشکلی وجود ندارد. با توجه به محاسبات اگر در زیرساخت‌های شهری آب حاصل از باران قابل جمع‌آوری نباشد، با توجه به شکل ۳ که مسیر حرکت آب باران را نشان می‌دهد، می‌توان زیرساخت‌هایی را در محل تلاقی و خروجی آب از سطح شهر فراهم آورد تا حداکثر استفاده را از این منبع آب شیرین در شهر بروجرد داشت.

بحث

در این پژوهش از خروجی مدل HadGM2 تحت دو سناریوی انتشار RCP2.6 و RCP8.5 که خوش‌بینانه‌ترین و بدبینانه‌ترین حالت می‌باشند، مربوط به پنجمین گزارش ارزیابی استفاده شد. منطقه مطالعاتی در دوره‌های ۲۰ ساله پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) و دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۲۰) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این بررسی نشان‌دهنده‌ی تغییرات آب و هوایی در دوره آتی می‌باشد که به شرح زیر است:

با توجه به تغییرات بارش می‌توان گفت که تغییرات در ماه‌های فصل زمستان از ژانویه تا مارس در سناریوی RCP2.6 کاهش و تا ۲۰ درصد کاهش را تجربه خواهد کرد. تغییرات بارش در فصل بهار تقریباً مشابه و شرایط برابری با دوره پایه دارند. در فصل تابستان دو سناریو ۴۰ درصد کاهش را تجربه می‌کنند و در فصل پاییز سناریو RCP2.6 تا ۲۰ درصد افزایش بارش و سناریو RCP8.5 در حدود ۱۰ درصد کاهش را تجربه می‌کنند. دو سناریو حداقل ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش را نشان می‌دهند و بیشترین افزایش در فصل پاییز اتفاق می‌افتد و در ماه اکتبر ۲/۵ درجه افزایش را شاهد می‌باشیم. تغییرات دمای بیشینه نشان‌دهنده افزایش حداقل ۲ درجه‌ای دما در هردو سناریو می‌باشد. در فصل زمستان دمای بیشینه ۲/۵ درجه افزایش دما در سناریو RCP8.5 و در فصل پاییز ۳ درجه افزایش دما را خواهد داشت.

با توجه به نتایج فوق می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که تغییرات پیش‌بینی شده حاکی از تغییرات آب و هوایی در ۲۰ سال آینده می‌باشد و تغییرات در بارش و دما می‌تواند بر روی منابع آب، غذا و انرژی اثر بگذارد. تغییراتی در آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی، آب مورد نیاز برای کشاورزی و به طبع آن در بخش غذا و انرژی پدیدار می‌گردد. پس باید تمهیدات لازم برای مقابله با این تغییرات برای سال‌های آتی در نظر گرفته شود تا به مشکل کمبود آب برخورد نکرد. در بروجرد به دلیل فراوانی آب‌های سطحی و زیرزمینی (آبخوان دشت سیلاخور) روش نو و سیستماتیک برای آبیاری باغات و محصولات وجود ندارد. شرکت آب و فاضلاب شهر بروجرد برای ۲۴۰۶۵۴ نفر جمعیت ساکن در این شهر در سال ۲۲ میلیون متر مکعب آب برداشت می‌کند. از این مقدار آب، ۵ میلیون متر مکعب هدررفت و مابقی آن در دسترس شهروندان قرار می‌گیرد. می‌توان گفت هر نفر در شهر بروجرد روزانه ۱۹۶/۲۲ لیتر آب مصرف می‌کند که ۷۵٪ از این مقدار جهت سیفون، سینک ظرف‌شویی، حمام، پخت‌وپز و ... استفاده می‌شود.



شکل ۳- نقشه حرکت آب‌های سطحی
Figure 3- Surface water map

اگر تمهیدات لازم جهت تصفیه آب سیاه و خاکستری اندیشیده شود، فاضلاب روزانه شهر بروجرد که ۳۵۴۱۶/۶ مترمکعب در روز می‌باشد، می‌تواند به چرخه آب مصرفی برگردد. کل فاضلاب شهر در سال، ۱۲۷۵۰۰۰۰ متر مکعب می‌باشد که با توجه به تصفیه آن می‌توان از برداشت آب‌های زیرزمینی جلوگیری کرد.

همچنین منبع مهم دیگر در شهر بروجرد که مورد بهره‌برداری قرار نگرفته است، بارش باران است. می‌توان بام‌های شیروانی و بام‌هایی که زاویه شیب آن‌ها از ۱۵ درجه بیشتر است را برای جمع‌آوری آب باران در فصل‌های پربارش در نظر گرفت. کل منطقه این بام‌ها ۱۳۶/۱۳ هکتار است و با توجه به میانگین متغیر بارش که ۰/۴۵۴ متر می‌باشد، از این منبع نهایت استفاده را داشت. حجم بارش به دست آمده در سال برای شهر ۶۱۲۶۱۲/۴۵ متر مکعب است که قابل توجه است. به‌طور فرضی می‌تواند ۳/۶٪ منبع آب شیرین را تأمین کند. همچنین اگر حجم فاضلاب برای تصفیه در نظر گرفته شود مقدار منبع آب در دسترس به ۱۳۳۶۲۶۱۲/۴۵مترمکعب می‌رسد که می‌تواند ۶۰/۷۴ درصد تقاضای آب فعلی را تأمین کند.

برای استفاده از آب باران فقط بحث تصفیه و در اختیار قرار دادن آن مورد بحث است. در شهر بروجرد به دلیل وجود آب شیرین ناشی از آب‌های سطحی (حدود ۳۰٪ آب شرب را تشکیل می‌دهند) و آب‌های زیرزمینی مناسب (حدود ۷۰٪ از آب شرب شهر را تأمین می‌کنند) انرژی زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این می‌توان از فاضلاب بازیافتی شهر بعد از تصفیه برای آبیاری کشاورزی شهری دوباره استفاده کرد، اگرچه در بروجرد به دلیل وجود آب زیرزمینی مناسب که می‌توان به سفره آب زیرزمینی سیلاخور اشاره کرد دارای منابع آبی کافی است، ولی باید توجه داشت که با در نظر گرفتن تغییراتی که در قبل ذکر شده و مقدار بارش باران کاهش پیدا می‌کند، حفظ این منابع آب برای کم‌آبی در آینده ضروری است.

نتیجه‌گیری

تقریباً هر سال، ما تشریفات سالانه‌ای را درباره اجرای خروجی رسانه‌ها، گزارشات دولت، وبلاگ‌های علمی مشاهده می‌کنیم که نشان می‌دهند سال قبل گرم‌ترین سال بوده یا حداقل درمیان گرم‌ترین سال‌ها بوده و داستان‌هایی را در این رابطه می‌خوانیم. به این

داستان معمولی، داستان درباره موضوعاتی مانند تغییر آب‌وهوا، ثبت دماهای محلی بالا، سطح یخ‌های قطب شمال، عقب‌نشینی یخچال‌های قطب جنوب و تصویری از پوشش معروف تغییر اقلیم ما که در حال ظهور است را بیفزایید. موضوعی که کمتر در صفحه اول روزنامه‌ها یا اخبار داغ مطرح می‌شود افزایش مداوم نگرانی در میان تحلیل‌گران امنیت و دانشمندان بسیاری از رشته‌ها از وجود روابط زیاد بین تغییر اقلیم و امنیت ملی، محلی و بین‌المللی انسان است. ما روابط نزدیک منابع و چالش‌های مدیریتی در حال ظهور را نیز به این نگرانی‌ها اضافه می‌کنیم.

ارتباطات آب، غذا و انرژی تعدادی از پیچیدگی‌ها، فرصت‌ها و چالش‌هایی را که بین‌رشته‌ای، متقابلی و چندبخشه‌ای هستند را نشان می‌دهد. این پیچیدگی‌ها صرفاً به یک بخش محدود نمی‌شود، بلکه به دلیل وابستگی بین منابع آب، غذا و انرژی به منابع ذاتی مرتبط است تا منابع انسانی برای رشد بیشتر انسانی و اقتصادی فراهم شود. در نتیجه تعاملات و شوک به یکی از این منابع یک یا چند بخش دیگر را هم تحت تأثیر قرار می‌دهد. یک رویکرد ارتباطی، سرمایه‌گذاری دانش و به اشتراک‌گذاری مهارت‌ها و تخصص را برای ایجاد راه‌حل‌های نوآورانه برای پیچیدگی‌های بین‌المللی مرتبط می‌کند.

آب باران به عنوان یک منبع طبیعی در شهر بروجرد مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و به صورت رواناب به رودخانه‌های فصلی ریخته می‌شود که می‌توان گفت برداشت آب باران برای کاهش کم‌آبی در آینده یک فرصت به شمار می‌آید. سیستم آب حاصل از بارش باران از طریق لوله‌های انتقال آب و سیستم فاضلاب هدایت می‌شوند. می‌توان بارش باران و آب حاصل از ذوب برف در زمستان را برای استفاده در فصل‌های کم‌آبی ذخیره کرد و از مازاد آن می‌توان برای تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی استفاده کرد. همچنین با توجه به تغییرات آب و هوایی و کشاورزی در بروجرد باید برنامه‌ای برای کاهش استفاده از منابع آب در تابستان ارائه داد که در سال‌های نه چندان دور، انتظار اجرای آن می‌رود.

منابع

1- AGECC (UN Secretary General's Advisory Group on Energy and Climate Change). 2010. Summary Report and Recommendations. p 13.
2- Bhaduri A., Ringler C., Dombrowski I., Mohtar R., and Scheumann W. 2015. Sustainability in the water–energy–food nexus. Water Int 40: 723–732.
3- Biswas A.K. 2004. Integrated Water Resources Management: A Reassessment. Water Int 29: 248–256.
4- Bizikova L., Roy D., Swanson D., Venema M., HenryDavid M., and McCandless M. 2013. The Water-energy-food Security Nexus: Towards a Practical Planning and Decision-support Framework For Landscape Investment and Risk Management. International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, Canada.
5- Cai X.M., and Rosegrant M.W. 2004. Irrigation technology choices under hydrologic uncertainty: A case study from Maipo River Basin, Chile. Water Resour Res. 40, W04103, doi: 10.1029/2003WR00 2810.
6- Chapagain A.K., and Tickner D. 2012. Water Footprint: Help or Hindrance? Water Alternatives 5: 563–581.
7- Collins M., Knutti R., Arblaster J., Dufresne J.-L., Fichefet T., Friedlingstein P., Gao X., Gutowski W.J., Johns T., Krinner G., Shongwe M., Tebaldi C., Weaver A.J., and Wehner M. 2013. Long-term Climate Change: Projections, Commitmens and Irreversbility. In : Climate Change 2013: The physical Basis.Contribution of Working Group I to the Finish Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stoker T.F., Qin G.-K., Plattner M., Tignor S.K. Allen J. Boschung A. Nauels Y. Xia V. Bex and Midgley P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. USA. PP. 1045-1047.
8- FAO. 1996. Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action. World Food Summit 13–17 November.
9- Global Water Partnership. 2000. Integrated Water Resources Management, Global Water Partnership. Stockholm.
10- Hamlet A.F., and Leltenmlier D.P. 2007. Effects of 20th Century warning and climate variability on flood risk in the western U. S., Water Resources Research 43: 466427.
11- Hering J.G., and Ingold K.M. 2012. Water Resources Management: What Should Be Integrated? Science 336: 1234–1235.
12- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., and Mekonnen M.M. 2011. The water footprint assessment manual: setting the global standard. (London and Washington, DC, Earthscan 24: 138–142.
13- Hoff H. 2011. Understanding the Nexus. In: Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus, Stockholm Environment Institute.
14- Hubacek K., Guan D.B., Barrett J., and Wiedmann T. 2009. Environmental implications of urbanization and lifestyle change in China: Ecological and Water Footprints. J Clean Prod. 17: 1241–1248.
15- Krysanova V., Dickens C., Timmerman J., Varela-Orlega C., Schluter M., Roest K., Hantyens P., Jaspers F., Buiteveld H., Moreno E., de Pedraza Carrera J., slamova R., Martinkova M., Blanco I., Uteve P., Pringle K., Pahl-Wash C., and Kabat P. 2010. Cross comparison of climate change adaptation strategies across large river basins in Europe, Africa and Asia, Water Resources Management 24: 4121-4160.

16- Kuiper D., Zarate E., and Aldaya M. 2010. Water Footprint and Corporate Water Accounting for Resource Efficiency. United Nations Environment Programme, Nairobi.
17- Lane M.E., Kirshen P.H., and Vogel R.M. 1999. Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. ASCE, J. Water Resour. Planning and Manag 125(4): 194-204.
18- Leck H., Conway D., Bradshaw M., and Rees J. 2015. Tracing the Water-Energy-Food Nexus: Description, Theory and Practice. Geogr. Compass 9: 445–460.
19- Lienhard J.H., Thiel G.P., Warsinger D.M., and Banchik L.D. 2016. "Low Carbon Desalination: Status and Research, Development, and Demonstration Needs". Report of a Workshop Conducted at the Massachusetts Institute of Technology in Association with the Global Clean Water Desalination Alliance, MIT Abdul Latif Jameel World Water and Food Security Lab, Cambridge, Massachusetts.
20- Maass A., Hufschmidt M.M., Dorfman R., Thomas H.A., Marglin S.A.,and Fair G.M. 1962. Design of Water-Resource Systems: New Techniques For Relating Economic Objectives, Engineering Analysis, and Governmental Planning. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
21- Merrey D.J. 2008. Is normative integrated water resources management implementable? Charting a practical course with lessons from Southern Africa. Phys. Chem. Earth 33: 899–905.
22- Racsko P., Szeidl L., and Semenov M. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. Ecological Modelling 57(1): 27-41.
23- Ringler C., Bhaduri A., and Lawford R. 2013. The nexus across water, energy, land and food (WELF): potential for improved resource use efficiency? Curr. Opin. Environ. Sustain 5: 617–624.
24- Semenov M.A., Brooks R.J., Barrow E.M., and Richardson C.W. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stoch - astic weather generators in diverse climates. Clim Res10: 95–107.
25- Semenov M.A., and Brooks R.J. 1999. Spatial interpolation of the LARS-WG weather generator in Great Britain. Climate Research 11: 137-148.
26- Semenov M.A., Barrow E.M., and LARS-WG A. 2002. A Stochastic Weather Generation for Use in Climate Impact Studies LARS-WG 35: 392-444.
27- Smol J.P. 2012. Climate Change: A planet in flux. Nature 483: 12–15.
28- Statistical Yearbook of Lorestan Province. 2002. Lorestan Housing and Urban Development Department (In Persian)
29- Sun S.K., Wu P.T., Wang Y.B., and Zhao X.N. 2013. The virtual water content of major grain crops and virtual water flows between regions in China. Journal of Science Food and Agriculture 93: 1427–1437.
30- UNDP. 2014. Human Development Report. http://www.undp.org.
31- United Nations. 2012. Rio+20 United Nations Conference on Sustainable Development. United Nations. Rio de Janeiro, Brazil.
32- Vince G. 2010. Getting More Drops to the Crops. Science 327: 800–800.
33- Weitz N., Nilsson M., and Davis M. 2014. A nexus approach to the post-2015 agenda: formulating integrated water, energy, and food SDGs. SAIS Rev. Johns Hopkins University Press. 34: 37–50.
34- Wicaksono S.A., Russell J.M., Holbourn A., and Kuhnt W. 2017. Hydrological and vegetation shifts in the Wallacean region of central Indonesia since the Last Glacial Maximum, Quat. Sci. Rev. 157:152-163.
35- Wilby R.L., and Harris I. 2006. A framework for assessing unceruinties in climate change impacts: low-flow scenarios for the river Thames, Water Resources Research. vol. 42. wo2419.
36- Xu D., Liu Y., Li Y.N., and Gong S.H. 2010. Overview on concepts and strategies studies of modern irrigation water management development. Journal of Hydraulic Engineering 39:1204–1212. (In Chinese)
37- Zhang F., Cui Z., Fan M., Zhang W., Chen X., and Jiang R. 2011. Integrated soil-crop system management: reducing environmental risk while increasing crop productivity and improving nutrient use efficiency in China. J. Environ. Qual. 40: 1051–1057.
38- Zhang G.P., Hoekstra A.Y., and Mathews R.E. 2013. Water Footprint Assessment (WFA) for better water governance and sustainable development. Water Resour & Ind 1-2: 1–6.
39- Zhao X., Chen B., and Yang Z.F. 2009. National water footprint in an input–output framework—A case study of China 2002. Ecological Model 220: 245–253.
40- Zhao C.F., and Chen B. 2014. Driving force analysis of the agricultural water footprint in China based on the LMDI method. Environmental Science and Technology 48: 12723–12731.
41- Zoumides C., Bruggeman A., Hadjikakou M., and Zachariadis T. 2014. Policy-relevant indicators for semi-arid nations: The water footprint of crop production and supply utilization of Cyprus. Ecol Indic. 43: 205–214.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 2, May-June 2020, p. 255-268

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۹، ص. ۲۶۸-۲۵۵

Understanding Water-Food-Energy Nexus and their Management for the Utilization of the Existing Water Resources

M.R. Goodarzi[1*] - R. Piryaei[2] - M.R. Moosavi[3]
Received: 28-01-2019
Accepted: 17-02-2020

Introduction: Due to climate change that is happening, the security of water and food in Iran has caused many worries, which include small towns like Boroujerd. A comprehensive assessment is necessary as well as the productivity of water resources, because it can provide information for government agencies and the public to develop appropriate patterns. The aim of this study is the use and productivity of water resources in Borujerd city, the aim of this study to utilize appropriately the existing water resources in the city of Boroujerd and it is based on recycling and reusing water resources and reduced harvesting of ground water. So the potential of water saving and return to the cycle has been evaluated, and the results can be used as a potential solution for water shortage in Boroujerd in the future.

Materials and Methods: Water, energy, and food security globally are achieved through a communication approach, an approach that integrates governance and management into all over sectors and scales. A communication approach can support the transition to a green economy which aims instead, among other things, the use of resources and policy coherence. Given the increasing communication between sectors in space and time, reducing economic, social and adverse environmental concerns can increase overall resource efficiency, more benefits and provide human rights for water and food. Therefore in a relationship-based approach, common policy and decision making an approach which reduces the composition and creates collaboration among sectors is in need.

Currently, the most reliable tool to produce climate scenarios is the paired 3D Atmosphere-Oceans General Circulation Models which called AOGCM in this paper. AOGCM is based on the physical relationships that are presented by mathematical relations. In formulating its AR5 synthesis report, the IPCC has made use of new RCP scenarios of greenhouse gas (GHG) emissions. The IPCC society has used new scenarios as trajectory representatives of various concentrations of greenhouse gases. New scenarios have four key trajectories called RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5 that are based on their radiative stimulus in 2100 and different specifications of the technology level, social and economic situation and future policies.

LARS-WG is a random weather generator that can be used to simulate atmospheric data at a station under current and future climate conditions. The first version developed in Budapest in 1990 as part of an agricultural risk assessment in Hungary, then reviewed and moderated by Semenov in 1998. This model produces a daily time series of minimum and maximum temperature, rainfall and solar radiation.

Results and Discussion: Concerning precipitation variations, it can be concluded that changes in winter months from January to March in RCP2.6 will decrease by 20%. Rainfall variations in the spring are the same and have equal status with the base time. In summer, two scenarios experience a 40% reduction, in fall, RCP2.6 shows a 20% increase in rainfall and the scenario RCP8.5 shows about 10% precipitation reduction. The two scenarios show at least 1.5 degrees Celsius increase and the highest increases are in fall, and in October, a rise of 2.5 degrees has seen. Maximum temperature changes which indicate the temperature increase to 2 degrees at least in both scenarios. In scenario RCP8.5, in winter and fall, the maximum temperature is increased to 2.5 and 3 degrees, respectively. Boroujerd’s water and sewage company harvests 22 hm^3 (MCM) water annually for its population of 240,654 people. If the necessary measures are taken for gray and black water purification, Boroujerd’s daily city sewage that is 35416/6 m^3 daily, can return to the water cycle. The city's total wastewater is 12,750,000 m^3 per year and it is possible to prevent underground water harvesting with purification. Rainfall is another important resource never utilized in Boroujerd. The gable roof and those with more than 15 degrees gradient can be used to collect the rainwater in the high rainfall season. The total roofs are 136.13 ha and

1- Assistant Professor, Civil Engineering Faculty, Yazd University, Yazd, Iran
(*- Corresponding Author Email: goodarzimr@yazd.ac.ir)
2 and 3- M.Sc. Student in Hydraulic Straucture and Water Engineering and Assistant Professor, Engineering Faculty, Ayatollah Boroujerdi University, Boroujerd, Iran, respectively.
DOI: 10.22067/jsw.v34i2.78589

according to the average rainfall 0/454m, it can be the maximum use of this resource. The annual volume of precipitation for this city is 612612/45m^3 which is significant. Supposedly, it could provide 3.6% of fresh water. Also, if the volume of sewage is considered for purification, the amount of available water source reaches 13362612/45m^3 which can meet 60/74% of current water demand.

Conclusion: Rainwater is not used as a natural resource in Borujerd city and flows into seasonal rivers as runoff. It can be said that harvesting rainwater is an opportunity to reduce water shortage in the future. Rainwater system transferred through the water pipelines and sewage system. It is possible to store rainfall and water remained after snow melts for dry seasons and its surplus can be used to supply. Also due to climate changes and agriculture in Borujerd city, a plan should be provided to reduce the use of water in the summer which is expected to be implemented shortly.

Keywords: HADGEM2 Model, Climate changes, Water resources, Water-Energy-Food Nexus